

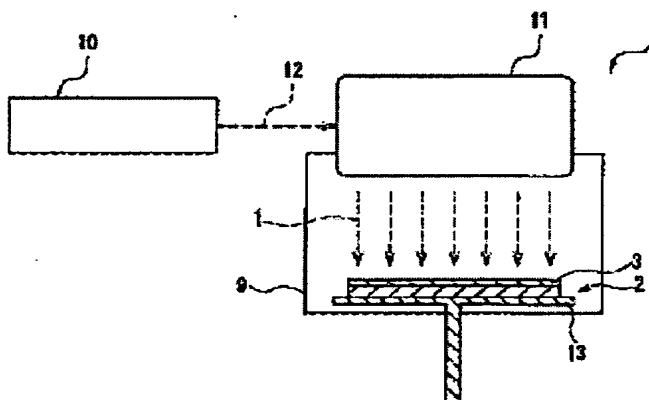
ANNEALING METHOD AND METHOD AND DEVICE FOR FORMING ULTRA-SHALLOW JUNCTION LAYER

Patent number: JP2003059857
Publication date: 2003-02-28
Inventor: TAKASE MICHIIHIKO; YOSHIDA TETSUHISA; MIZUNO BUNJI
Applicant: MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD
Classification:
 - international: **H01L21/265; H01L21/02; (IPC1-7): H01L21/265**
 - european:
Application number: JP20020157795 20020530
Priority number(s): JP20020157795 20020530; JP20010167972 20010604

Report a data error here

Abstract of JP2003059857

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an annealing method for preventing activated impurities from unnecessarily diffusing to the deep part of a substrate. **SOLUTION:** The annealing method is for annealing the substrate to which impurities are introduced. The method comprises a recrystallization process for recrystallizing atoms constituting the substrate by thermally treating the substrate, so that the substrate becomes thermally balanced state at a substrate temperatures which is sufficiently low, to the degree that the impurities introduced to the substrate are not activated and an electromagnetic wave irradiation process for irradiating the substrate with electromagnetic waves having a prescribed frequency band, so that the lattice vibration (phonons) of the atoms is directly excited for activating the impurities in a thermally non-balanced state, in a state in which the substrate is kept at a sufficiently low substrate temperature after the recrystallization process.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-59857

(P 2 0 0 3 - 5 9 8 5 7 A)

(43) 公開日 平成15年2月28日(2003.2.28)

(51) Int. Cl. ⁷
H01L 21/265

識別記号
603

F I
H01L 21/265

603 Z

テーマコード (参考)

審査請求 有 請求項の数11 O L (全8頁)

(21) 出願番号 特願2002-157795(P 2002-157795)
(22) 出願日 平成14年5月30日(2002.5.30)
(31) 優先権主張番号 特願2001-167972(P2001-167972)
(32) 優先日 平成13年6月4日(2001.6.4)
(33) 優先権主張国 日本(J P)

(71) 出願人 000005821
松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真1006番地
(72) 発明者 ▲高▼瀬 道彦
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(72) 発明者 吉田 哲久
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(74) 代理人 110000040
特許業務法人池内・佐藤アンドパートナーズ

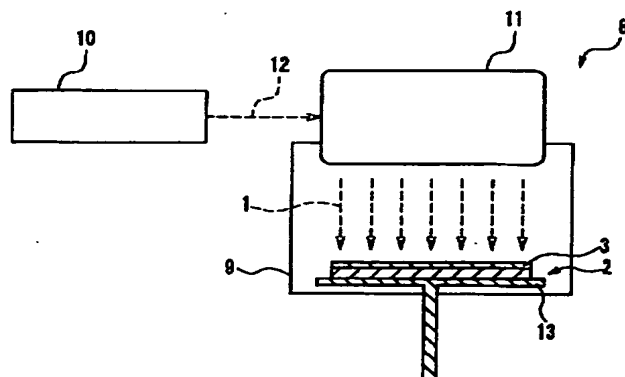
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アニール方法、極浅接合層形成方法および極浅接合層形成装置

(57) 【要約】

【課題】 活性化した不純物が基板の深部へ不必要に拡散することを防止することができるアニール方法を提供する。

【解決手段】 アニール方法は、不純物が導入された基板をアニールするためのアニール方法であって、前記基板に導入された前記不純物が活性化しない程度に十分低い基板温度において前記基板が熱的平衡状態となるように前記基板を熱処理することによって、前記基板を構成する原子を再結晶化させる再結晶化工程と、前記再結晶化工程の後で、前記十分低い基板温度に前記基板を保った状態において、熱的非平衡状態において前記不純物を活性化するために、前記原子の格子振動（フォノン）を直接励起するように、所定の周波数帯域を有する電磁波を前記基板に照射する電磁波照射工程とを包含する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 不純物が導入された基板をアニールするためのアニール方法であって、前記基板に導入された前記不純物が活性化しない程度に十分低い基板温度において前記基板が熱的平衡状態となるように前記基板を熱処理することによって、前記基板を構成する原子を再結晶化させる再結晶化工程と、前記再結晶化工程の後で、前記十分低い基板温度に前記基板を保った状態において、熱的非平衡状態において前記不純物を活性化するために、前記原子の格子振動（フォノン）を直接励起するように、所定の周波数帯域を有する電磁波を前記基板に照射する電磁波照射工程とを包含することを特徴とするアニール方法。

【請求項 2】 不純物が導入された半導体基板に極浅接合層を形成するための極浅接合層形成方法であって、前記半導体基板に導入された前記不純物が活性化しない程度に十分低い基板温度において前記半導体基板が熱的平衡状態となるように前記半導体基板を熱処理することによって、前記半導体基板を構成する半導体原子を再結晶化させる再結晶化工程と、前記再結晶化工程の後で、前記十分低い基板温度に前記半導体基板を保った状態において、熱的非平衡状態において前記不純物を活性化して極浅接合層を形成するために、前記半導体原子の格子振動（フォノン）を直接励起するように、所定の周波数帯域を有する電磁波を前記半導体基板に照射する電磁波照射工程とを包含することを特徴とする極浅接合層形成方法。

【請求項 3】 前記半導体基板は、シリコンとシリコン化合物とのいずれかによって構成されている、請求項 2 記載の極浅接合層形成方法。

【請求項 4】 前記再結晶化工程において、700℃以下の基板温度において前記半導体基板を熱処理する、請求項 2 記載の極浅接合層形成方法。

【請求項 5】 前記再結晶化工程において、電気炉とランプ加熱炉とのいずれかによって前記半導体基板を熱処理する、請求項 2 記載の極浅接合層形成方法。

【請求項 6】 前記電磁波照射工程において照射される前記電磁波は、10フェムト秒以上1000フェムト秒以下のパルス幅を有する超短パルスレーザ光を含んでいる、請求項 2 記載の極浅接合層形成方法。

【請求項 7】 前記電磁波照射工程において照射される前記電磁波は、10GHz以上1THz以下の周波数帯域幅を有する連続波出力レーザ光を含んでいる、請求項 2 記載の極浅接合層形成方法。

【請求項 8】 前記電磁波照射工程において照射される前記電磁波は、10GHz以上100GHz以下の発振周波数を有するミリ波帯電磁波を含んでいる、請求項 2 記載の極浅接合層形成方法。

【請求項 9】 前記電磁波照射工程において照射される前記電磁波は、前記半導体原子と前記不純物との間の結

合エネルギーに対応する周波数帯域を有している、請求項 2 記載の極浅接合層形成方法。

【請求項 10】 前記電磁波照射工程は、前記十分低い基板温度に前記半導体基板を保つように前記半導体基板を冷却しながら、前記電磁波を前記半導体基板に照射する、請求項 2 記載の極浅接合層形成方法。

【請求項 11】 不純物が導入された半導体基板に極浅接合層を形成するための極浅接合層形成装置であって、前記半導体基板に導入された前記不純物が活性化しない程度に十分低い基板温度において前記半導体基板が熱的平衡状態となるように前記半導体基板を熱処理することによって、前記半導体基板を構成する半導体原子を再結晶化させる再結晶化手段と、前記再結晶化手段によって前記半導体原子が再結晶化した前記半導体基板を前記十分低い基板温度に保った状態において、熱的非平衡状態において前記不純物を活性化して極浅接合層を形成するために、前記半導体原子の格子振動（フォノン）を直接励起するように、所定の周波数帯域を有する電磁波を前記半導体基板に照射する電磁波照射手段とを具備することを特徴とする極浅接合層形成装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、不純物が導入された基板を構成する原子に生じた格子欠陥を回復させるために原子を再結晶化させた後、基板に導入された不純物を活性化するためのアニール方法、極浅接合層形成方法および極浅接合層形成装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、シリコン単結晶ウェハを基板として形成される超大規模集積回路（LSI）をはじめとする半導体装置においては、半導体装置のデザインルールの縮小に伴って、ショートチャンネル効果を防止すると共に半導体装置を高速に動作させるために、半導体装置に設けられたトランジスタに形成される拡散層の接合深さを浅くする必要性が生じている。このため、ダイナミック即時呼び出し記憶装置（DRAM）等に用いられるMOSFETないしバイポーラトランジスタにおいては、例えば、ゲート長が100ナノメートル程度のゲートを有するトランジスタに形成される拡散層の接合深さは50ナノメートル程度に浅くすることが要求されている。さらに、ゲート長が50ナノメートル程度のゲートを有するトランジスタに形成される拡散層の接合深さは10ナノメートル程度に浅くすることが要求されている。このため、10ナノメートルないし50ナノメートル程度の深さを有する極浅接合層に不純物を高濃度にドーピングする技術と共に、このような極浅接合層にドーピングされた不純物を活性化させるためのアニール技術が検討されている。

【0003】このような従来のアニール技術の一つとし

て、不純物が注入された基板の全体を 1000℃程度に赤外線ランプ等を用いて加熱する赤外線急速熱処理 (RTA) による固相拡散過程を利用した熱平衡状態での活性化法が知られている。又、レーザを用いた従来技術としては、308nm の XeCl エキシマレーザを照射してシリコン基板の表面を溶融した後、シリコン原子を再結晶化する技術がレーザアニールとして知られている。ここでは、例えば、0.35 J/cm² のレーザアニールと 800℃10 秒の RTA とを組み合わせる熱処理を行っている (参考文献 Ken-ich Goto 他、p931-933.、International Electron Device Meeting 1999 at Washington DC)。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、熱平衡状態での赤外線急速熱処理 (RTA) による固相拡散過程を利用する前述した従来のアニール技術は、不純物ドーパ層を活性化させるためには有効であるけれども、基板の全体が 1000℃程度の高温に加熱されるために、注入された不純物が基板の深部へ拡散してしまうおそれがあるという問題があった。例えば、低エネルギーにより得られた深さ 20 ナノメートルの砒素原子注入層は、1000℃における急速加熱処理を 10 秒間行うことにより、深さが 50 ナノメートル程度となり、加熱前の 2.5 倍の深さになってしまうという問題があった。

【0005】また、複数回の不純物導入プロセスを必要とする LSI 製造工程において、従来の熱処理技術では基板の全体が、不純物が拡散する高温に加熱されるために、拡散が不必要な位置に存在する不純物まで拡散するおそれがあるという問題があった。

【0006】さらに、エキシマレーザを照射する前述した従来技術では、基板の深部への不必要な拡散は相当程度抑制されるけれども、不純物が導入された基板を構成する原子に生じた格子欠陥を十分に回復させることができないために、作成した半導体装置に形成されたトランジスタにおいて生じる漏れ電流が大きくなるおそれがあるという問題があった。

【0007】本発明は前述した問題を解決するためになされたものであり、その目的は、活性化した不純物が基板の深部へ不必要に拡散することを防止することができるアニール方法を提供することにある。

【0008】本発明の他の目的は、接合深さの浅い極薄接合層を形成することができる極浅接合層形成方法および極浅接合層形成装置を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明に係るアニール方法は、不純物が導入された基板をアニールするためのアニール方法であって、前記基板に導入された前記不純物が活性化しない程度に十分低い基板温度において前記基板が熱的平衡状態となるように前記基板を熱処理するこ

とによって、前記基板を構成する原子を再結晶化させる再結晶化工程と、前記再結晶化工程の後で、前記十分低い基板温度に前記基板を保った状態において、熱的非平衡状態において前記不純物を活性化するために、前記原子の格子振動 (フォノン) を直接励起するように、所定の周波数帯域を有する電磁波を前記基板に照射する電磁波照射工程とを包含することを特徴とする。

【0010】前記において格子振動 (フォノン) とは、熱運動あるいは外部からの強制振動によって、結晶格子位置に存在する原子間に原子の微小変位に対してフックの法則に従う復元力 (バネ力) として働く原子間力に起因する原子の振動が隣の原子へ伝わる連成振動をいう。

【0011】本発明に係る極浅接合層形成方法は、不純物が導入された半導体基板に極浅接合層を形成するための極浅接合層形成方法であって、前記半導体基板に導入された前記不純物が活性化しない程度に十分低い基板温度において前記半導体基板が熱的平衡状態となるように前記半導体基板を熱処理することによって、前記半導体基板を構成する半導体原子を再結晶化させる再結晶化工程と、前記再結晶化工程の後で、前記十分低い基板温度に前記半導体基板を保った状態において、熱的非平衡状態において前記不純物を活性化して極浅接合層を形成するために、前記半導体原子の格子振動 (フォノン) を直接励起するように、所定の周波数帯域を有する電磁波を前記半導体基板に照射する電磁波照射工程とを包含することを特徴とする。

【0012】前記において極浅接合層とは、半導体装置に設けられたトランジスタに形成される拡散層であって、その接合深さが約 20 ナノメートル以下約 1 ナノメートル以上の拡散層をいう。

【0013】本発明に係る極浅接合層形成装置は、不純物が導入された半導体基板に極浅接合層を形成するための極浅接合層形成装置であって、前記半導体基板に導入された前記不純物が活性化しない程度に十分低い基板温度において前記半導体基板が熱的平衡状態となるように前記半導体基板を熱処理することによって、前記半導体基板を構成する半導体原子を再結晶化させる再結晶化手段と、前記再結晶化手段によって前記半導体原子が再結晶化した前記半導体基板を前記十分低い基板温度に保った状態において、熱的非平衡状態において前記不純物を活性化して極浅接合層を形成するために、前記半導体原子の格子振動 (フォノン) を直接励起するように、所定の周波数帯域を有する電磁波を前記半導体基板に照射する電磁波照射手段とを具備することを特徴とする。

【0014】

【発明の実施の形態】本発明に係る極浅接合層形成方法において、前記半導体基板は、シリコンとシリコン化合物とのいずれかによって構成されていることが好ましい。シリコン基板に形成された半導体装置を得ることができるからである。前記再結晶化工程において、700

10

20

30

40

50

℃以下の基板温度において前記半導体基板を熱処理することが好ましい。半導体基板に導入された不純物が熱的平衡状態において活性化しない程度に十分低い基板温度だからである。前記再結晶化工程において、電気炉とランプ加熱炉とのいずれかによって前記半導体基板を熱処理することが好ましい。簡単な構成によって熱処理することができるからである。前記電磁波照射工程において照射される前記コヒーレント電磁波は、10フェムト秒以上1000フェムト秒以下のパルス幅を有する超短パルスレーザー光を含んでいることが好ましく、また10GHz以上1THz以下の周波数帯域幅を有する連続波出力レーザー光を含んでいることが好ましく、また10GHz以上100GHz以下の発振周波数を有するミリ波帯電磁波を含んでいることが好ましい。前記電磁波照射工程において照射される前記コヒーレント電磁波はまた、前記半導体原子と前記不純物との間の結合エネルギーに対応する周波数帯域を有していることが好ましい。半導体原子の格子振動（フォノン）をより確実に励起することができるからである。前記電磁波照射工程は、前記十分低い基板温度に前記半導体基板を保つように前記半導体基板を冷却しながら、前記電磁波を前記半導体基板に照射することが好ましい。冷却によって、熱的平衡状態では不純物が実質的に活性化しない程度に十分低い基板温度に半導体基板を確実に保つことができるので、活性化した不純物が半導体基板の深部へ不必要に拡散することをより確実に防止することができるからである。

【0015】以下、図面を参照して本実施の形態を説明する。図1は、本実施の形態に係る不純物が導入されたシリコン基板2の断面図である。シリコン基板2の表面には、不純物層3が形成されている。不純物層3は、例えばイオン注入法またはプラズマドーピング法によって不純物をシリコン基板2へ導入することにより形成される。

【0016】図2は、本実施の形態に係る再結晶化工程を実行するための電気炉4を模式的に示す断面図である。電気炉4は、チャンバー14を備えている。チャンバー14の内部には、不純物層3が予め形成されたシリコン基板2が収容されている。チャンバー14には、チャンバー14の内部に収容されたシリコン基板2を加熱するためのヒータ7が設けられている。チャンバー14の一方の側壁にはチャンバー14の内部へ窒素（N₂）ガスを導入するためのガス導入管5が設けられており、チャンバー14の他方の側壁にはチャンバー14の内部におけるガスをチャンバー14の外部へ排出するためのガス排出管6が設けられている。

【0017】このように構成された電気炉4において、不純物層3が予め形成されたシリコン基板2をチャンバー14の中に収容した後、窒素（N₂）ガスをガス導入管5を通してチャンバー14の内部へ導入し、チャンバー14の内部に存在するガスをガス排出管6を通して排

出することによって、チャンバー14の内部を窒素（N₂）ガス雰囲気とした。

【0018】そして、シリコン基板2の基板温度が、シリコン基板2が熱的に平衡な状態である熱的平衡状態では不純物が実質的に活性化しない程度に十分低い700℃以下になるように、シリコン基板2をヒータ7によって加熱した。例えば、シリコン基板2が約600℃の基板温度において熱的平衡状態になるように約5時間の間シリコン基板2を加熱した。加熱されたシリコン基板2を構成するシリコン原子は、約600℃の基板温度において再結晶化し、不純物が導入されたシリコン基板2を構成するシリコン原子に生じた格子欠陥が回復した。

【0019】このような熱処理によって、シリコン基板2を構成するシリコン原子が再配列し、シリコン原子に生じた格子欠陥が消滅した。この熱処理における重要なポイントは、シリコン原子を再結晶化させる際の基板温度を、熱的平衡状態では不純物が実質的に活性化しない程度に十分低い700℃以下とすることである。

【0020】図3は、本実施の形態に係る電磁波照射工程を実行するための電磁波照射装置8を模式的に示す断面図である。電磁波照射装置8は、チャンバー9を備えている。チャンバー9の内部には、載置台13が設けられている。載置台13の上には、前述した電気炉4によって熱処理されたシリコン基板2が、不純物層3が上側になるように載置されている。

【0021】電磁波照射装置8は、コヒーレント電磁波源10を有している。コヒーレント電磁波源10は、入射コヒーレント電磁波12を生成する。チャンバー9には、載置台13に載置されたシリコン基板2に形成された不純物層3に対向するように照射光学系11が設けられている。照射光学系11は、コヒーレント電磁波源10によって生成された入射コヒーレント電磁波12を照射コヒーレント電磁波1に変換して、不純物層3が形成されたシリコン基板2へ照射する。照射光学系11はまた、シリコン基板2へ照射される照射コヒーレント電磁波1の照射均一性を確保するために必要な所定の光学部品によって構成されている。チャンバー9の内部は、例えば、窒素、ヘリウム、アルゴン等の不活性ガス雰囲気に保たれている。

【0022】このように構成された電磁波照射装置8において、前述した電気炉4によって約600℃の基板温度において熱処理されたシリコン基板2を、不活性ガス雰囲気に保たれているチャンバー9の内部に設けられた載置台13の上に載置すると、シリコン基板2の基板温度は、熱的平衡状態では不純物が実質的に活性化しない程度に十分低い500℃以下に保たれた。

【0023】そして、コヒーレント電磁波源10によって、入射コヒーレント電磁波12を生成した。照射光学系11は、シリコン基板2へ照射される照射コヒーレント電磁波1の照射均一性を確保するように、入射コヒー

10

20

30

40

50

レント電磁波12を照射コヒーレント電磁波1に変換して、シリコン基板2が熱的に非平衡な状態である熱的非平衡状態において、不純物層3に含まれる不純物を活性化するように、所定の周波数帯域を有する照射コヒーレント電磁波1をシリコン基板2へ照射した。

【0024】所定の周波数帯域を有する照射コヒーレント電磁波1が照射されるシリコン基板2の固体結晶中においては、原子は規則正しく配列しており、結晶格子位置に存在する原子間には原子間力が働いている。この原子間力は原子の微小変位に対してフックの法則に従う復元力（バネ力）として働くので、熱運動あるいは外部からの強制振動によって原子が振動すると、その原子の振動は隣の原子へと伝わり連成振動を生じる。これを格子振動といい、固体中では量子化されているためフォノンと呼ばれる。さらに、原子の質量、原子間距離ならびに復元力のバネ定数に相当する原子間力は、個々の物質に応じて固有の値を持つため、格子振動（フォノン）の振動数と波数は互いに依存関係にあり、これを分散関係という。

【0025】固体結晶に電磁波を照射した場合、局所的な温度上昇（熱的結合）あるいは誘電分極の擾乱（光弾性結合）により、光と結合した弾性歪みが生じる。この弾性歪みを外力として、格子振動（フォノン）の振動数の領域にある光（電磁波）を固体結晶に照射すると、誘導ラマン散乱により位相のそろったコヒーレント格子振動（フォノン）を励起することができる。

【0026】例えば、シリコン単結晶において知られているフォノンの分散関係（参考文献、例えば、F. Favot and A. D. Corso, Phys. Rev. B 60, 11427 (1999).）によると、格子振動（フォノン）の振動数は10GHz~10THzの間に存在する。

【0027】10GHz~100GHzの周波数帯域（ミリ波領域）内におけるコヒーレント電磁波を得るためには、ジャイロトロン等のミリ波発振管により得られるミリ波領域のコヒーレント電磁波をシリコン単結晶に照射し、コヒーレント電磁波による交番電界によりシリコン単結晶表面の誘電分極をコヒーレントに振動させることによって、格子振動（フォノン）を励起することができる。

【0028】コヒーレント電磁波源10によって生成される入射コヒーレント電磁波12および照射光学系11によって入射コヒーレント電磁波12から変換された照射コヒーレント電磁波1は、発振周波数が10GHz以上100GHz以下のミリ波帯電磁波によって構成した。ミリ波帯電磁波は、ジャイロトロン発振管、クライストロン発振管ないしは進行波管をコヒーレント電磁波源10に用いて発生することができた。

【0029】シリコン基板2へ照射した照射コヒーレント電磁波1を構成するミリ波帯電磁波は、シリコン基板

2を構成するシリコン原子と不純物との間の結合エネルギーに対応する周波数帯域を有していた。

【0030】発振周波数が10GHz以上100GHz以下のミリ波帯電磁波によって構成される照射コヒーレント電磁波1がシリコン基板2へ照射されると、シリコン原子の格子振動（フォノン）が直接励起され、熱的非平衡状態において不純物が活性化し、活性化した不純物が拡散して極薄接合層が形成された。

【0031】活性化した不純物は、熱的平衡状態では不純物が実質的に活性化しない程度に十分低い500℃以下の基板温度において拡散した。このため、不純物はシリコン基板の深部へ不必要に拡散しなかった。その結果、接合深さが約20ナノメートル以下約1ナノメートル以上の極浅接合層を形成することができた。

【0032】以上のように本実施の形態によれば、シリコン基板2に導入された不純物が活性化しない程度に十分低い基板温度においてシリコン基板2が熱的平衡状態となるようにシリコン基板2を熱処理することによって、シリコン基板2を構成するシリコン原子を再結晶化させる再結晶化工程と、再結晶化工程の後で、十分低い基板温度にシリコン基板2を保った状態において、熱的非平衡状態において不純物を活性化して極浅接合層を形成するために、シリコン原子の格子振動（フォノン）を直接励起するように、所定の周波数帯域を有する電磁波をシリコン基板2に照射する電磁波照射工程とを包含する。

【0033】このため、熱的平衡状態では不純物が実質的に活性化しない程度に十分低い基板温度において不純物が活性化し、活性化した不純物がこのように十分低い基板温度において拡散する。その結果、活性化した不純物がシリコン基板2の深部へ不必要に拡散することを防止することができるので、接合深さの浅い極浅接合層を形成することができる。

【0034】なお本実施の形態においては、シリコン基板2を使用する例を示したが、本発明はこれに限定されない。シリコン膜等が形成されたガラス材料、高分子材料等によって構成される基板を使用してもよく、GaAs等の化合物半導体基板を使用してもよい。さらに、フォトレジスト等のマスク材料を使用してもよい。

【0035】また、照射コヒーレント電磁波1がミリ波帯電磁波によって構成されている例を示したが、本発明はこれに限定されない。照射コヒーレント電磁波1は、周波数帯域幅が10GHz以上1THz以下の連続波出力レーザ光によって構成してもよい。連続波出力レーザ光は、例えば、半導体レーザ装置をコヒーレント電磁波源10に用いて発生することができる。照射コヒーレント電磁波1はまた、パルス幅が10フェムト秒以上1000フェムト秒以下（周波数帯域幅が1THz以上~100THz以下）の超短パルスレーザ光によって構成してもよい。超短パルスレーザ光は、例えば、チタンサフ

ファイバレーザ装置をコヒーレント電磁波源10に用いて発生することができる。照射コヒーレント電磁波1はさらに、前述した超短パルスレーザ光、連続波出力レーザ光およびミリ波帯電磁波のいずれか2つ以上を複合させて構成してもよい。

【0036】10フェムト秒以上1000フェムト秒以下のパルス幅を有する前述した超短パルスレーザ光をシリコン基板2へ照射するとき、シリコン基板2に形成された不純物層3の表面が溶融するとしても、不純物層3の溶融固化現象は断熱的かつ局所的に生じるため問題はない。これは、照射される超短パルスのパルス幅が10フェムト秒以上1000フェムト秒以下と短いために、シリコン基板2の全体における温度に与える影響は無視できる程度に小さいためである。

【0037】電磁波照射装置8に設けられたチャンバー9の内部が不活性化ガス雰囲気中に保たれている例を示したが、 1×10^{-4} Torr以下の真空度に保たれていてもよい。ここで、1 Torr = 133.322 Paである。

【0038】電気炉4によってシリコン基板2を熱処理する例を示したが、ランプアニール炉によって熱処理してもよい。

【0039】図1および図2に示すように、予め不純物層3が形成されたシリコン基板2を熱処理する例を示したが、電気炉4のチャンバー14の内部にイオン源を設け、イオン源によって、不純物層3が形成される前のシリコン基板2に不純物を導入して不純物層3を形成してもよい。また、チャンバー14の内部にプラズマ電極を設け、チャンバー14の内部に不純物を含む気体としてジボラン等を流入させ、プラズマ電極によって発生した放電中におけるプラズマドーピングによって不純物をシリコン基板2へ導入して、不純物層3を形成してもよい。

【0040】図4は、本実施の形態に係る極浅接合層形成方法における熱処理工程および電磁波照射工程の双方を実行するための極浅接合層形成装置21を模式的に示す断面図である。図2を参照して前述した電気炉4の構成要素および図3を参照して前述した電磁波照射装置8の構成要素と同一の構成要素には同一の参照符号を付している。従って、これらの構成要素の詳細な説明は省略する。

【0041】極浅接合層形成装置21は、チャンバー9Aを備えている。チャンバー9Aの内部には、載置台13Aが設けられている。載置台13Aの上には、シリコン基板2が、不純物層3が上側になるように載置されている。載置台13Aには、シリコン基板2に導入された不純物が熱的平衡状態において活性化しない程度に十分低い基板温度にシリコン基板2を保つための液体窒素を流通させる図示しない流路が形成されている。極浅接合層形成装置21には、載置台13Aに液体窒素を供給す

るための液体窒素供給装置24が設けられている。載置台13Aには、載置台13Aに形成された流路を流通する液体窒素の温度を制御するための冷却装置23が設けられている。

【0042】チャンバー9Aの一方の側壁にはチャンバー9Aの内部へ窒素(N_2)ガスを導入するためのガス導入管5が設けられており、チャンバー9Aの他方の側壁にはチャンバー9Aの内部におけるガスをチャンバー9Aの外部へ排出するためのガス排出管6が設けられている。

【0043】チャンバー9Aの内部には、載置台13Aの上に載置されたシリコン基板2を加熱するための赤外線ランプ22が設けられている。

【0044】極浅接合層形成装置21は、コヒーレント電磁波源10を有している。コヒーレント電磁波源10は、入射コヒーレント電磁波12を生成する。チャンバー9Aには、載置台13Aに載置されたシリコン基板2に形成された不純物層3に対向するように照射光学系11が設けられている。照射光学系11は、コヒーレント電磁波源10によって生成された入射コヒーレント電磁波12を照射コヒーレント電磁波1に変換して、不純物層3が形成されたシリコン基板2へ照射する。

【0045】このように構成された極浅接合層形成装置21において、不純物層3が予め形成されたシリコン基板2をチャンバー9Aの中の載置台13Aの上に載置した後、窒素(N_2)ガスをガス導入管5を通してチャンバー9Aの内部へ導入し、チャンバー9Aの内部に存在するガスをガス排出管6を通して排出することによって、チャンバー9Aの内部を窒素(N_2)ガス雰囲気とした。

【0046】そして、シリコン基板2の基板温度が、熱的平衡状態では不純物が実質的に活性化しない程度に十分低い700℃以下になるように、シリコン基板2を赤外線ランプ22によって加熱した。例えば、シリコン基板2が約600℃の基板温度において熱的平衡状態になるように約5時間の間シリコン基板2を加熱した。加熱されたシリコン基板2を構成するシリコン原子は、約600℃の基板温度において再結晶化し、不純物が導入されたシリコン基板2を構成するシリコン原子に生じた格子欠陥が回復した。このような熱処理によって、シリコン基板2を構成するシリコン原子が再配列し、シリコン原子に生じた格子欠陥が消滅した。

【0047】次に、前述した熱処理が施されたシリコン基板2が載置された載置台13Aに形成された流路へ液体窒素供給装置24から液体窒素を供給した。そして、シリコン基板2が載置された載置台13Aに形成された流路を流通する液体窒素からの熱伝導によって、熱的平衡状態では不純物が実質的に活性化しない程度に十分低い500℃以下にシリコン基板2の基板温度を保つように、載置台13Aに形成された流路を流通する液体窒素

を冷却装置 23 によって冷却した。

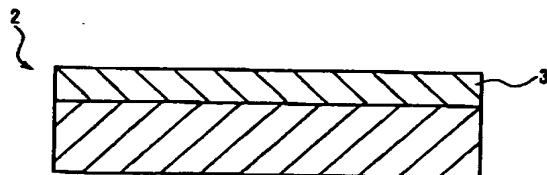
【0048】その後、コヒーレント電磁波源 10 によって、入射コヒーレント電磁波 12 を生成した。照射光学系 11 は、シリコン基板 2 へ照射される照射コヒーレント電磁波 1 の照射均一性を確保するように、入射コヒーレント電磁波 12 を照射コヒーレント電磁波 1 に変換して、シリコン基板 2 が熱的に非平衡な状態である熱的非平衡状態において、不純物層 3 に含まれる不純物を活性化するように、冷却装置 23 によって 500℃以下の基板温度に保たれたシリコン基板 2 へ照射コヒーレント電磁波 1 を照射した。照射コヒーレント電磁波 1 は、前述した電磁波照射装置 8 と同様に、発振周波数が 10 GHz 以上 100 GHz 以下のミリ波帯電磁波によって構成した。

【0049】発振周波数が 10 GHz 以上 100 GHz 以下のミリ波帯電磁波によって構成される照射コヒーレント電磁波 1 がシリコン基板 2 へ照射されると、シリコン原子の格子振動（フォノン）が直接励起され、熱的非平衡状態において不純物が活性化し、活性化した不純物が拡散して極薄接合層が形成された。

【0050】前述した電磁波照射装置 8 と同様に、活性化した不純物は、熱的平衡状態では不純物が実質的に活性化しない程度に十分低い 500℃以下の基板温度において拡散した。このため、不純物はシリコン基板の深部へ不必要に拡散しなかった。その結果、接合深さが約 20 ナノメートル以下約 1 ナノメートル以上の極浅接合層を形成することができた。

【0051】このように、極浅接合層形成装置 21 によれば、単一の装置によって極浅接合層を形成することができた。なお、シリコン基板 2 が載置された載置台 13、A に形成された流路を流通する液体窒素を冷却装置 23 によって冷却することによって、熱的平衡状態では不純物が実質的に活性化しない程度に十分低い 500℃以下にシリコン基板 2 の基板温度を保つ例を示したが、チャンバー 9 A の全体を冷却することによってシリコン基板 2 の基板温度を 500℃以下に保つようにしてもよい。

【図 1】



【0052】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、活性化した不純物が基板の深部へ不必要に拡散することを防止することができるアニール方法を提供することができる。

【0053】また本発明によれば、接合深さの浅い極薄接合層を形成することができる極浅接合層形成方法および極浅接合層形成装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本実施の形態に係る不純物が導入された半導体基板の断面図である。

【図 2】本実施の形態に係る再結晶化工程を実行するための電気炉を模式的に示す断面図である。

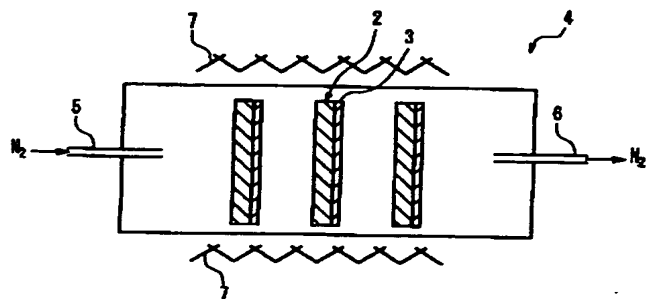
【図 3】本実施の形態に係る電磁波照射工程を実行するための電磁波照射装置を模式的に示す断面図である。

【図 4】本実施の形態に係る再結晶化工程および電磁波照射工程の双方を実行するための極浅接合層形成装置を模式的に示す断面図である。

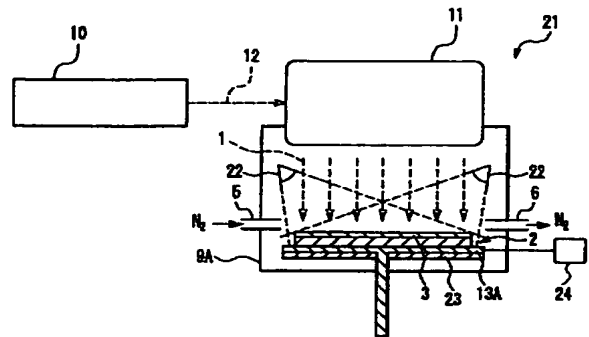
【符号の説明】

- 1 照射コヒーレント電磁波
- 20 2 シリコン基板
- 3 不純物層
- 4 電気炉
- 5 ガス導入管
- 6 ガス排出管
- 7 ヒータ
- 8 電磁波照射装置
- 9 チャンバー
- 10 コヒーレント電磁波源
- 11 照射光学系
- 12 入射コヒーレント電磁波
- 13 載置台
- 14 チャンバー
- 21 極浅接合層形成装置
- 22 赤外線ランプ
- 23 冷却装置
- 24 液体窒素供給装置

【図 2】



【图 4】



(72)発明者 水野 文二
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.